

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**



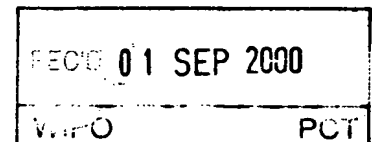
EPO - Munich  
51

11. Aug. 2000

EP 00/6030  
EU

10/089031

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**



**Aktenzeichen:** 199 46 668.8

**Anmeldetag:** 29. September 1999

**Anmelder/Inhaber:** Rohde & Schwarz GmbH & Co KG,  
München/DE

**Bezeichnung:** Sendeeinrichtung

**IPC:** H 03 F 1/32

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 27. Juli 2000  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Agurks

## Sendeeinrichtung

Die Erfindung betrifft eine Sendeeinrichtung mit einem  
Quadraturmodulator und einem Leistungsverstärker, der durch  
5 eine sogenannte kartesische Rückkopplungsschleife (cartesian  
feedback) mit einem Quadraturdemodulator linearisiert ist.

Eine Sendeeinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1  
geht beispielsweise aus der EP 0 706 259 A1 hervor. Bei der  
10 aus dieser Druckschrift hervorgehenden Sendeeinrichtung wird  
ein Basisband-Eingangssignal über zwei Differenzverstärker  
einem Quadraturmodulator zugeführt, welcher eine  
Quadraturmodulation der Inphase-Komponente und der  
Quadraturphase-Komponente des komplexen Eingangssignals  
15 vornimmt. Dabei wird das Signal einem Aufwärtskonverter  
zugeführt, welcher das Signal vom Basisband auf die  
Sendefrequenz anhebt. Die Leistungsverstärkung erfolgt in  
einem nachfolgenden Leistungsverstärker. Zum Ausgleich der  
Nichtlinearität dieses Leistungsverstärkers ist eine  
20 Rückkopplungsschleife vorgesehen, die im allgemeinen  
cartesian feedback bezeichnet wird. In dieser  
Rückkopplungsschleife befindet sich zunächst ein  
Abwärtskonverter, um das von dem Ausgang des  
Leistungsverstärkers ausgekoppelte Sendesignal in das  
25 Basisband zurück zu konvertieren. Im Basisband befindet sich  
ein Quadraturdemodulator, der das rückgekoppelte Signal in  
eine rückgekoppelte Inphase-Komponente und eine  
rückgekoppelte Quadraturphase-Komponente zerlegt. Die  
rückgekoppelte Inphase-Komponente wird zusammen mit der  
30 Inphase-Komponente des Eingangssignals einem dem  
Quadraturmodulator vorgeschalteten ersten  
Differenzverstärker zugeführt. Entsprechend wird die  
rückgekoppelte Quadraturphase-Komponente zusammen mit der  
Quadraturphase-Komponente des Eingangssignals einem zweiten  
35 Differenzverstärker zugeführt. Dadurch werden die  
Nichtlinearitäten des Leistungsverstärkers über das  
rückgekoppelte Signal ausgeglichen.

In der EP 0 706 259 A1 wird noch vorgeschlagen, zum Ausgleich der Gleichspannungs-Komponenten des Quadraturmodulators einen Testbetrieb vorzusehen, bei welchem der Sendeeinrichtung kein Eingangssignal zugeführt wird. Das Ausgangssignal der beiden Differenzverstärker wird jeweils in einem Integrator integriert und jeweils einem dem Integrator nachgeschalteten Abtast- und Halteschaltung zugeführt. Die Abtast-Halteschaltung befindet sich während des Testbetriebs in dem Abtastzustand und führt einen gegengekoppelten Eingang des zugeordneten Differenzverstärkers ein solches Kompensationssignal zu, daß die Gleichspannungs-Komponenten des zugeordneten Zweigs des Quadraturmodulators kompensiert werden. Während des normalen Sendebetriebs befindet sich die Abtast- und Halteschaltung im Haltezustand und führt dem Eingang des jeweiligen Differenzverstärkers den während des Testbetriebs ermittelten Kompensationspegel zu. Ferner wird in der EP 0 706 259 A1 noch vorgeschlagen, während eines weiteren Testbetriebs, bei welchem am Ausgang des Quadraturdemodulators vorgesehene Schalter geöffnet sind, durch Erfassen des Ausgangssignals des Quadraturdemodulators in diesem Zustand bei zwei verschiedenen Eingangssignalen den Phasenversatz für einen zwischen einem lokalen Oszillator und dem Quadraturdemodulator vorgesehen Phasenschieber zu ermitteln.

Bei der Anwendung einer nach dem Prinzip des cartesian feedback arbeitenden Sendeeinrichtung im Flugfunk, insbesondere beim nach dem VDL-Standard (VHF-Digital-Link) im TDMA-Simplex-Betrieb arbeitendem digitalen Flugfunk, besteht das Problem, daß eine schnelle Umschaltung zwischen dem Sendebetrieb und dem Empfangsbetrieb nur mit Schwierigkeiten verwirklicht werden kann, da beim Umschalten vom Sendebetrieb zum Empfangsbetrieb der Leistungsverstärker und der lokale Oszillator vollständig abgeschaltet werden müssen, um eine Einstrahlung in den Empfänger zu vermeiden. Dabei wird jedoch zwangsläufig die Hochfrequenz-Rückkopplungsschleife zwischen den Ausgängen und den Kompensationseingängen der Differenzverstärker unterbrochen.

Beim Wiedereinschalten des Leistungsverstärkers und des lokalen Oszillators beim Umschalten vom Empfangsbetrieb zum Sendebetrieb muß sich die Rückkopplungsschleife deshalb wieder neu einschwingen, was zu unerwünschten Signalsprüngen bei der Sende-Empfangsumschaltung führt. Die Regelung der Rückkopplungsschleife würde während der Sendeunterbrechung auf das positive oder negative Regelungsende einregeln. Beim Wiedereinschalten käme sofort die volle Sendeleistung zum Einsatz. Der EP 0 706 259 A1 lassen sich keine Maßnahmen zur Beseitigung dieses Problems entnehmen.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine Sendeeinrichtung mit einem Leistungsverstärker, welcher nach dem Prinzip des cartesian feedback linearisiert ist, zu schaffen, bei welcher eine schnelle Sende-Empfangsumschaltung ermöglicht ist, und ein entsprechendes Verfahren zum Umschalten dieser Sendeeinrichtung vom Sendebetrieb in einen Sendeunterbrechungsbetrieb bzw. Empfangsbetrieb anzugeben.

Die Aufgabe wird bezüglich der Sendeeinrichtung durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 und bezüglich des Verfahrens durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 10 jeweils in Verbindung mit den gattungsbildenden Merkmalen gelöst.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß dem durch den Quadraturmodulator, den Leistungsverstärker und den Quadraturdemodulator gebildeten Hochfrequenz-Signalfad ein weiterer direkter Signalfad parallel geschaltet wird, über welchen unter Umgehung des Quadraturmodulators, des Leistungsverstärkers und des Quadraturdemodulators der Ausgang des Differenzverstärkers beim Umschalten von dem Sendebetrieb in den Empfangsbetrieb mit dem gegengekoppelten Eingang verbunden wird. Der Ausgang des Differenzverstärkers ist mit seinem gegengekoppelten Eingang deshalb jederzeit verbunden - beim Sendebetrieb über dem Hochfrequenz-Signalfad und beim Empfangsbetrieb über den direkten (Gleichstrom)-Signalfad. Die Sende-Empfangsumschaltung

erfolgt dabei vorzugsweise in der Weise, daß beim Umschalten vom Sendebetrieb in den Empfangsbetrieb zunächst der direkte (Gleichstrom)-Signalpfad geschlossen wird, bevor der Hochfrequenz-Signalpfad geöffnet wird. Beim Umschalten vom  
5 Sendebetrieb in den Empfangsbetrieb wird entsprechend umgekehrt vorgegangen. Auf diese Weise werden Signalsprünge bei der Sende- Empfangsumschaltung vermieden.

Die Ansprüche 2 bis 9 betreffen vorteilhafte Weiterbildungen  
10 der Sendeeinrichtung und die Ansprüche 11 bis 14 betreffen vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Vorteilhaft sind sowohl in dem Inphase-Signalpfad als auch  
15 in dem Quadraturphase-Signalpfad jeweils zwei weitere Differenzverstärker vorgesehen, mit welchen sich Abgleichspannungen in die Signalpfade einkoppeln lassen, um sowohl den Gleichspannungsversatz (DC-offset) des Quadraturmodulators als auch den Gleichspannungsversatz (DC-  
20 offset) des Quadraturdemodulators zu kompensieren. Dadurch wird im abgeschalteten Zustand, wenn am I- und Q-Eingang kein Signal anliegt, der Spannungswert OV am Eingang und Ausgang der Differenzverstärker erreicht, wodurch die Zuschaltung des Gleichstrom-Signalpfads stoßfrei erfolgen  
25 kann.

Der Abgleich des Quadraturmodulators wird bei geschlossenem Hochfrequenz-Signalpfad vorgenommen. Der Abgleich des Quadraturdemodulators hingegen wird bei geöffnetem  
30 Hochfrequenz-Signalpfad und geschlossenem Gleichstrom-Signalpfad vorgenommen. Der Abgleich erfolgt dabei in der Weise, daß die Ausgangsspannung an den der Kompensation dienenden Differenzverstärkern minimiert wird. Dies kann bei sehr geringem Meßaufwand und hoher Meßgeschwindigkeit  
35 erfolgen. Zusätzlich kann ein Feinabgleich des Quadraturdemodulators bei noch geschlossenem Hochfrequenz-Signalpfad erfolgen, wobei dann als Meßgröße die Ausgangsleistung des Leistungsverstärkers bei abgeschaltetem

Eingangssignal herangezogen wird, die z. B. über einen logarithmischen Detektor gemessen werden kann.

Ein vereinfachtes Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1 ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Sendeeinrichtung;
- Fig. 2 ein Detail der in Fig. 1 dargestellten Sendeeinrichtung; und
- Fig. 3 eine schematische Darstellung der Ausgangsleistung der Sendeeinrichtung als Funktion der Zeit zur Erläuterung eines bevorzugten Abgleichverfahrens.

Fig. 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Sendeeinrichtung in einem prinzipiellen Blockschaltbild.

Ein digitaler Signalprozessor (DSP) 2 erzeugt ein komplexes Eingangssignal für einen Quadraturmodulator 3, der aus einem Inphase-Mischer 4, einem Quadraturphase-Mischer 5 und einem Summierer 6 sowie einem Phasenschieber 7 besteht. Das komplexe Eingangssignal besteht aus einer Inphase-Komponente I und einer Quadraturphase-Komponente Q, wobei die Inphasen-Komponente I dem Inphase-Mischer 4 und die Quadraturphase-Komponente Q dem Quadraturphase-Mischer 5 zugeführt wird. Dem Phasenschieber 7 wird das Ausgangssignal eines lokalen Oszillators 8 zugeführt, wobei der Phasenschieber 7 dieses Oszillatorsignal dem Inphase-Mischer 4 ohne Phasenverschiebung und dem Quadraturphase-Mischer 5 unter einer Phasenverschiebung von  $90^\circ$  zuführt.

Dem Quadraturmodulator 3 ist ein Leistungsverstärker 9 nachgeschaltet, der das quadraturmodulierte Signal entsprechend der Sendeleistung der Sendeeinrichtung 1 leistungsverstärkt und über einen Zirkulator 10, einen

Leistungsdetektor 11 und einen Sende-Empfangsumschalter 12 einer Antenne 13 zuführt. Im in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel dient der digitale Signalprozessor 2 gleichzeitig als Steuereinheit für die Sende-  
 5 Empfangsumschaltung und steuert den Sende-Empfangsumschalter 12 so an, daß die Antenne 13 beim Sendebetrieb mit dem Leistungsverstärker 9 und beim Empfangsbetrieb mit einem als RX bezeichneten Empfänger verbunden ist. Um eine Rückkopplung eventuell reflektierter Sendeleistung in den  
 10 Leistungsverstärker 9 zu vermeiden, dient der mit dem Abschlußwiderstand 14 verbundene Zirkulator 10.

In dem Signalpfad zwischen dem Leistungsverstärker 9 und der Antenne 13 befindet sich ein Auskoppler 15, der das  
 15 Ausgangssignal des Leistungsverstärkers 9 in eine Rückkopplungsschleife 16 einkoppelt. In der Rückkopplungsschleife 16 befindet sich ein Umschalter 17, über welchen ein Eingang 18 eines Quadraturdemodulators 19 wahlweise mit dem Auskoppler 15 oder einem  
 20 Abschlußwiderstand 20 verbindbar ist. Zwischen dem Auskoppler 15 und dem Umschalter 17 befindet sich ein logarithmischer Leistungsdetektor 39. Der Quadraturdemodulator 19 besteht aus einem Signalverteiler 21, der das Eingangssignal gleichmäßig auf einen Inphase-  
 25 Mischer 22 und einen Quadraturphase-Mischer 23 verteilt. Ferner ist ein Phasenschieber 24 vorgesehen, dem das Ausgangssignal des lokalen Oszillators 8 über einen einstellbaren Phasenschieber 25 zugeführt wird. Der Phasenschieber 24 arbeitet wie der Phasenschieber 7 und  
 30 führt dem Inphase-Mischer 22 ein nicht phasenverschobenes Oszillatorsignal und dem Quadraturphasen-Mischer 23 ein um  $90^\circ$  phasenverschobenes Oszillatorsignal zu, wobei das Oszillatorsignal vorher durch den Phasenverschieber 25 insgesamt um einen Phasenwinkel  $\phi$  phasenverschoben wurde.

35

Am Ausgang des Inphase-Mischers 22 liegt eine rückgekoppelte Inphase-Komponente  $I'$  und am Ausgang des Quadraturphase-Mischers 23 liegt eine rückgekoppelte Quadraturphase-Komponente  $Q'$  vor. Die Inphase-Komponente  $I$  des

Eingangssignals wird auf den (+)-Eingang eines ersten Differenzverstärkers 26 gegeben, während die rückgekoppelte Inphase-Komponente  $I'$  auf den (-)-Eingang der ersten Differenzverstärkers 26 gegeben wird. In entsprechender

5 Weise wird die Quadraturphase-Komponente  $Q$  des Eingangssignals dem (+)-Eingang eines zweiten Differenzverstärkers 27 zugeführt, während die rückgekoppelte Quadraturphase-Komponente  $Q'$  dem (-)-Eingang des zweiten Differenzverstärkers 27 zugeführt wird. Durch

10 diese, allgemein als cartesian feedback bezeichnete Rückkopplungs-Anordnung wird erreicht, daß Linearisierungsfehler des Leistungsverstärkers 9 durch den in der Rückkopplungsschleife 16 angeordneten

15 Quadraturdemodulators 19 und die Differenzverstärker 26 und 27 kompensiert werden. Dabei ist jedoch zu beachten, daß das rückgekoppelte Signal  $I', Q'$  den Differenzverstärkern 26 und 27 mit einer Phasenverschiebung von  $0^\circ$  gegenüber dem Eingangssignal  $I, Q$  zugeführt wird. Die richtige Phasenlage

20 wird durch den verstellbaren Phasenverschieber 25 eingestellt, dessen Phasenwinkel  $\phi$  durch den digitalen Signalprozessor über ein Steuersignal veränderbar ist.

Da sowohl der Quadraturmodulator 3 als auch der Quadraturdemodulator 19 einen Gleichspannungsversatz (DC-

25 offset) aufweisen, ist dieser Gleichspannungsversatz entsprechend zu kompensieren.

Dazu dient ein dritter Differenzverstärker 28, der zwischen dem Inphase-Mischer 22 des Quadraturdemodulators 19 und dem

30 ersten Verstärker 26 angeordnet ist. Ein vierter Differenzverstärker 29 ist zwischen dem Quadraturphase-Mischer 23 des Quadraturdemodulators 19 und dem zweiten Differenzverstärker 27 angeordnet. Während dem (+)-Eingang des dritten Differenzverstärkers 28 die rückgekoppelte

35 Inphase-Komponente  $I'$  zugeführt wird, wird dem (-)-Eingang des dritten Differenzverstärkers 28 eine erste Abgleichspannung  $V_{I1}$  zugeführt, so daß am Ausgang des dritten Differenzverstärkers 28 der Gleichspannungsversatz in der  $I'$ -Komponente des Quadraturdemodulators 19



5 kompensiert ist. In entsprechender Weise wird dem vierten Differenzverstärker 29 an dessen (+)-Eingang die rückgekoppelte Quadraturphase-Komponente  $Q'$  zugeführt, während dessen (-)-Eingang eine vierte Abgleichspannung  $V_{Q1}$  zugeführt wird.

10 Um den Gleichspannungsversatz des Quadraturmodulators 3 zu kompensieren, dient ein fünfter Differenzverstärker 30, dessen (+)-Eingang der Ausgang des ersten Differenzverstärkers 26 zugeführt wird, während dessen (-)-Eingang eine dritte Abgleichspannung  $V_{I2}$  zugeführt wird. Ferner ist ein sechster Differenzverstärker 31 vorgesehen, dessen Ausgang mit dem Quadraturphasen-Mischer 5 des Quadraturmodulators 3 verbunden ist, und dessen (+)-Eingang 15 der Ausgang des zweiten Differenzverstärkers 27 zugeführt ist. Dem (-)-Eingang des sechsten Differenzverstärkers 31 ist eine vierte Abgleichspannung  $V_{Q2}$  zugeführt. Die Abgleichspannungen  $V_{I1}$ ,  $V_{Q1}$ ,  $V_{I2}$  und  $V_{Q2}$  sind in Fig. 1 als steuerbare Spannungsquellen zur besseren Veranschaulichung 20 eingezeichnet, jedoch werden diese Abgleichspannungen zweckmäßigerweise intern in dem digitalen Signalprozessor 2 erzeugt.

25 Bei der schnellen Umschaltung zwischen Sendebetrieb und Empfangsbetrieb besteht bei Verwendung einer Rückkopplungsschleife 16 nach dem 'cartesian feedback Prinzip das Problem, daß der Hochfrequenz-Signalfad der Schleife bestehend aus dem Quadraturmodulator 3, dem Leistungsverstärker 9, dem Quadraturdemodulator 19 und den 30 Differenzverstärkern 26 und 27 beim Umschalten vom Sendebetrieb zum Empfangsbetrieb unterbrochen werden muß, da der Leistungsverstärker 9 und der lokale Oszillator 8 abgeschaltet werden müssen. Bei dem Wiedereinschalten des Leistungsverstärkers 9 und des lokalen Oszillators 8 und dem 35 Wiederherstellen des Hochfrequenz-Signalfades über die Rückkopplungsschleife 16 kommt es zu einem Schaltstoß, da die Spannungen des Regelsystems, also die Ausgangsspannungen der beiden Differenzverstärker 26, 27 bei geöffneten Hochfrequenz-Signalfad an den positiven oder negativen

- Regelanschlag laufen. Dies führt zu einem unzulässigen Leistungssprung auf die maximal mögliche Sendeleistung des Leistungsverstärkers 9. Steht, wie bei der Anwendung beim digitalen Flugfunk VDL (VHF-digital-link), nur ein kurzer Umschaltzeitraum zur Verfügung, so ist das Verfahren des cartesian feedback ohne besondere Maßnahmen nicht anwendbar. Bei einem TDMA-System (wie z. B. VDL) soll die Nachbarkanalleistung durch den Burstbetrieb nicht verschlechtert werden. Die Definition des VDL-Standards ermöglicht theoretisch ein störungsfreies Ein- und Ausschalten der Sendeeinrichtung. Durch die erfindungsgemäße Maßnahme wird ein ideales, störungsfreies Spektrum im getasteten Betrieb gewährleistet.
- Die Erfindung schlägt zur Lösung dieses Problems vor, neben dem Hochfrequenz-Signalfad vom Ausgang der Differenzverstärker 26 und 27 über den Quadraturmodulator 3, den Leistungsverstärker 9 und den Quadraturdemodulator 19 zum (-)-Eingang der Differenzverstärker 26 und 27 zwei direkte Gleichstrom-Signalfade 32 und 33 vorzusehen, die den Ausgang des jeweils zugeordneten Differenzverstärkers 26 bzw. 27 mit dem (-)-Eingang des jeweiligen Differenzverstärkers 26 bzw. 27 direkt verbinden. Die direkten Gleichstrom-Signalfade 32 und 33 bestehen im dargestellten Ausführungsbeispiel jeweils aus einem steuerbarem Schalter 34 bzw. 35, die beispielsweise als Feldeffekt-Transistoren ausgebildet sein können, und einem in Serie geschaltetem Widerstand 36 bzw. 37.
- Die Umschaltung von dem Sendebetrieb in den Empfangsbetrieb erfolgt erfindungsgemäß so, daß vor dem Öffnen des Hochfrequenz-Signalfades zunächst die Schalter 34 und 35 geschlossen werden, so daß sowohl der Hochfrequenz-Signalfad über die Rückkopplungsschleife 16 als auch die direkten Gleichstrom-Signalfade 32 und 33 in Betrieb ist. Anschließend wird der Umschalter 17 durch den digitalen Signalprozessor 2 so betätigt, daß der Eingang 18 des Quadraturdemodulators 19 nicht mehr mit dem Auskoppler 15 sondern mit dem Abschlußwiderstand 20 verbunden ist und

somit der Hochfrequenz-Signalfad über die Rückkopplungsschleife 16 unterbrochen ist. Da an dem Eingang des Quadraturdemodulators 19 somit kein Eingangssignal mehr anliegt, wird der Pegel an dem (-)-Eingang des ersten und  
5 zweiten Differenzverstärkers 26 und 27 über die Rückkopplung des Gleichstrom-Signalfads 32 bzw. 33 und die konstante Ausgangsspannung der dritten und vierten Differenzverstärkers 28 und 29 bestimmt. Bereits vor dem Öffnen des Hochfrequenz-Signalfades durch Umschalten des  
10 Umschalters 17 kann die Stromversorgung (Bias) des Leistungsverstärkers 9 abgeschaltet werden. Der Sende-Empfangsumschalter 12 an dem Eingang der Antenne 13 kann bereits nach einer Reduzierung des I/Q-Eingangssignals (Ramping) vor dem Betätigen der Schalter 34, 35 und 17 und  
15 vor dem Abschalten der Stromversorgung des Leistungsverstärkers 9 umgeschaltet werden, wodurch sofort eine gute Abschaltisolation erreicht wird. Reflektionen, die an dem Sende-Empfangsumschalter 12 auftreten, werden über den Zirkulator 10 dem Abschlußwiderstand 14 zugeführt.  
20 Zuletzt wird der lokale Oszillator 8 abgeschaltet.

Beim Umschalten in den Sendebetrieb wird in umgekehrter Reihenfolge vorgegangen:

25 Zunächst wird der lokale Oszillator 8 eingeschaltet und die Stromversorgung (Bias) für den Leistungsverstärker 9 zugeschaltet. Anschließend wird der Hochfrequenz-Signalfad über die Rückkopplungsschleife 16 durch Umschalten des Umschalters 17 geschlossen. Dann werden die Schalter 34 und  
30 35 geöffnet, so daß die Gleichstrom-Signalfade 32 und 33 wieder unterbrochen werden. Der Sende-Empfangsumschalter 12 wird so geschaltet, daß der Ausgang des Leistungsverstärkers 9 mit der Antenne 13 verbunden ist.

35 Durch das erfindungsgemäße überlappende Umschalten zwischen Gleichstrom-Signalfad und Hochfrequenz-Signalfad wird sichergestellt, daß beim Umschalten keine Signalsprünge auftreten, da der Ausgang des ersten und zweiten Differenzverstärkers 26 bzw. 27 stets entweder über den

Hochfrequenz-Signalpfad oder über den Gleichstrom-Signalpfad 32 bzw. 33 mit seinem (-)-Eingang verbunden ist. Somit liegen stets definierte Signalpegel am (-)-Eingang der Differenzverstärker 26 und 27 an.

5

Fig. 2 zeigt die Beschaltung der Differenzverstärker 26, 27, 28, 29, 30 und 31 in einem detaillierterem Schaltbild, wobei lediglich der Signalpfad für die Quadraturphase-Komponente Q, also die Differenzverstärker 29, 27 und 31  
10 wiedergegeben ist. Für die Inphase-Komponente I steht eine identische Schaltung zur Verfügung.

Der Eingangsanschluß 41 ist mit dem Ausgang des Quadraturphase-Mischers 23 des Quadraturdemodulators 19 und  
15 intern mit dem (+)-Eingang des Differenzverstärkers 29 verbunden. Zwischen dem (+)-Eingang des Differenzverstärkers 29 und der Schaltungsmasse 42 befindet sich ein Widerstand 43. Ein weiterer Widerstand 44 befindet sich zwischen dem (-)-Eingang des Differenzverstärkers 29 und der  
20 Schaltungsmasse 42, wobei dem (-)-Eingang des Differenzverstärkers 29 über einen Serienwiderstand 45 die Abgleichspannung  $V_{Q1}$  zugeführt wird. Zwischen dem Ausgang des Differenzverstärkers 29 und seinem (-)-Eingang befindet sich ein weiterer Widerstand 46. Der Ausgang des  
25 Differenzverstärkers 29 ist mit dem (-)-Eingang des Differenzverstärkers 27 über einen Serienwiderstand 47 verbunden.

Dem (+)-Eingang des Differenzverstärkers 27 ist die  
30 Quadraturphase-Komponente Q des komplexen Eingangssignals über einen Anschluß 48 zugeführt. Zwischen dem Anschluß 48 und der Schaltungsmasse 42 befindet sich ein weiterer Widerstand 49. Ein weiterer Widerstand 50 befindet sich zwischen dem Ausgang des Differenzverstärkers 27 und der  
35 Schaltungsmasse 42. Zwischen dem Ausgang des Differenzverstärkers 27 und dem (-)-Eingang des Differenzverstärkers 27 befindet sich ein RC-Glied, bestehend aus dem Kondensator 51 und dem Serienwiderstand 52, welche in Serie geschaltet sind. Parallel dazu befindet

sich der Gleichstrom-Signalpfad 33, der aus dem steuerbaren Schalter 35 und dem Serienwiderstand 37 besteht. Durch das Schließen des steuerbaren Schalters 35 wird deshalb ein Potentialausgleich zwischen dem Ausgang des Differenzverstärkers 27 und seinem (-)-Eingang geschaffen. An dem Ausgang des Differenzverstärkers 27 steht an dem Meßpunkt 53 die Meßspannung  $V_{QM}$  zur Verfügung, auf deren Bedeutung später noch eingegangen wird.

Die Beschaltung des Differenzverstärkers 31 ist identisch mit der Beschaltung des Differenzverstärkers 29, so daß die Anordnung der Widerstände 54-57 der Anordnung der Widerstände 44-47 entspricht. An dem Ausgangsanschluß 58 kann die Stellgröße für den Quadraturphasen-Mischer 5 des Quadraturmodulators 3 abgenommen werden. An dem Ausgangsanschluß 58 befindet sich ein RC-Glied, bestehend aus dem Kondensator 59 und dem parallel dazu geschalteten Widerstand 60. Das RC-Glied definiert die Bandbreite des Hochfrequenz-Signalpfades.

20

Das Potential am (+)-Eingang des Differenzverstärkers 29 beträgt  $U_1$ , während das Potential am Ausgang des Differenzverstärkers 29 bzw. am (-)-Eingang des Differenzverstärkers 27  $U_1 - V_{Q1}$  beträgt. Entsprechend beträgt das Potential am Ausgang des Differenzverstärkers 27 bzw. am (+)-Eingang des Differenzverstärkers 31  $U_2 + V_{Q2}$ , so daß sich am Ausgang des Differenzverstärkers 31 ein Potential  $U_2$  einstellt. Die variablen Abgleichspannungen  $V_{Q1}$  und  $V_{Q2}$  werden durch ein iteratives Abgleichverfahren so eingestellt, daß das Potential am (-)-Eingang und am Ausgang des Differenzverstärkers 27 jeweils Null ist, d. h. es gilt  $U_1 - V_{Q1} = 0$  und  $U_2 + V_{Q2} = 0$ . Da das Potential am (-)-Eingang und Ausgang des Differenzverstärkers 27 einheitlich Null ist, entstehen bei der Betätigung des Schalters 35 keine Schaltstöße, so daß das Zuschalten und Abschalten des Gleichstrom-Signalpfades 32 stoßfrei erfolgen kann.

Anhand von Fig. 3 wird das erfindungsgemäße Verfahren zum Umschalten zwischen dem Sendebetrieb und einem Sendeunterbrechungsbetrieb bzw. Empfangsbetrieb erläutert. Gleichzeitig wird anhand dieses schematischen Zeitdiagramms ein erfingungsgemäßes Abgleichverfahren erläutert, das im Rahmen der Erfindung vorteilhaft zum Einsatz kommt. In Fig. 3 ist in einem logarithmischen Maßstab die Ausgangsleistung  $P$  des Leistungsverstärkers 9 als Funktion der Zeit  $t$  dargestellt.

Zu Beginn des Sendeintervalls ist in dem VDL-Standard vorgeschrieben, daß zunächst für die Dauer von 3 Datensymbolen ein Startsignal übertragen wird, bei welchem das komplexe Eingangssignal ausschließlich eine Inphase-Komponente  $I$  jedoch keine Quadraturphase-Komponente  $Q$  aufweist. In diesem mit 71 gekennzeichneten Zeitintervall, kann deshalb eine Messung des Phasenwinkels  $\phi$  für den Phasenschieber 25 erfolgen. Da während des Zeitintervalls 71 nur eine Inphase-Komponente  $I$  übertragen wird, müßte die Spannung an dem Meßpunkt 53 Null sein. Der Phasenwinkel  $\phi$  kann deshalb vor dem nächsten Sendeintervall (burst) gezielt so verändert werden, daß die Meßspannung an dem Meßpunkt 53 auf einen möglichst kleinen Wert optimiert wird. Dieser Phasenwinkel  $\phi$  wird dann bis zum nächsten Sendeintervall aufrecht erhalten und kann im nächsten Sendeintervall weiter optimiert werden.

Zwischen den Zeitpunkten  $t_2$  und  $t_3$  werden Daten übertragen. Zum Zeitpunkt  $t_3$  ist der eigentliche Sendevorgang beendet. Entsprechend dem VDL-Standard gibt es Situationen, in welcher eine schnelle Umschaltung zwischen dem Sendebetrieb und dem Empfangsbetrieb innerhalb von einigen 100  $\mu$ s erfolgen muß. Dies ist durch die Linie 75 in Fig. 3 angedeutet. In diesem Fall wird wie vorstehend beschrieben vorgegangen: es wird der Sende-Empfangsumschalter 12 umgeschaltet und es werden durch Schließen der Schalter 34 und 35 zunächst die Gleichstrom-Signalpfade 32 und 33 hergestellt. Anschließend wird die Stromversorgung (Bias) des Leistungsverstärkers 9 abgeschaltet und der Eingang 18

des Quadraturdemodulators 19 von dem Auskoppler 15 auf den Abschlußwiderstand 20 umgeschaltet. Schließlich wird der lokale Oszillator 8 abgeschaltet.

- 5 Es gibt jedoch im VDL-Betrieb auch Situationen, die eine langsamere Umschaltung zwischen dem Sendebetrieb und dem Empfangsbetrieb ermöglichen, wobei ca. 2,5 ms für einen automatischen Abgleich zur Verfügung stehen. Dieser automatische Abgleich wird nachfolgend beschrieben.

10

In einem optionalen Feinabgleich während des Zeitintervalls 72 wird ein Feinabgleich des Quadraturdemodulators 19 vorgenommen. Dieser Feinabgleich kann gegebenenfalls auch entfallen. Hierfür wird zunächst das Eingangssignal I/Q auf Null heruntergeregelt, so daß der Leistungsverstärker nur noch eine minimale Restleistung  $P_2$  erzeugt. Die Abgleichspannungen  $V_{I1}$  und  $V_{Q1}$ , die den Gleichspannungsversatz des Quadraturdemodulators 19 kompensieren, werden so optimiert, daß an dem logarithmischen Leistungsdetektor 39 eine minimale Restleistung  $P_2$  detektiert wird. Da kein Eingangssignal I/Q anliegt, ist die ideale Ausgangsleistung  $P_2$  Null und ein bestehendes Ausgangssignal rührt im wesentlichen von dem Gleichspannungsversatz des Quadraturdemodulators 19 her.

25

In dem nachfolgenden Zeitintervall 73 erfolgt ein Abgleich des Quadraturmodulators 3, indem die Meßspannung  $V_{IM}$  der Inphase-Komponente an dem Meßpunkt 61 und die Meßspannung  $V_{QM}$  der Quadraturphase-Komponente an dem Meßpunkt 53 in Fig. 1 gemessen werden. Auch bei dieser Messung ist sowohl die Inphase-Komponente I als auch die Quadraturphase-Komponente Q des von dem digitalen Signalprozessors 2 erzeugten Eingangssignals Null, so daß die gemessene Spannung  $V_{QM}$  im wesentlichen von dem Gleichspannungsversatz des Quadraturmodulators 3 herrührt. Durch Abgleich der Spannungen  $V_{I2}$  und  $V_{Q2}$  werden die Meßspannungen  $V_{IM}$  und  $V_{QM}$  gegen Null minimiert. Dadurch wird der Gleichspannungsversatz des Modulators 3 kompensiert.

35

Die Messung im Zeitintervall 72 und 73 erfolgt bei noch geschlossenem Hochfrequenz-Signalfad, d. h. die Schalter 34 und 35 sind noch geöffnet und der Schalter 17 verbindet den Eingang 18 des Quadraturdemodulators 19 mit dem Auskoppler 15. Ferner ist die Spannungsversorgung (Bias) für den Leistungsverstärker 9 noch angeschaltet.

Im Zeitpunkt  $t_4$  werden zunächst die beiden Schalter 34 und 35 geschlossen und nachfolgend der Umschalter 17 auf den Abschlußwiderstand 20 umgeschaltet, so daß nunmehr die Gleichstrom-Signalfade 32 und 33, jedoch nicht der Hochfrequenz-Signalfad, aktiv sind. Vor dem Betätigen des Umschalters 17 wird die Stromversorgung des Leistungsverstärkers 9 abgeschaltet.

Da folglich das Eingangssignal an dem Quadraturdemodulator 19 Null ist und weiterhin das von dem digitalen Signalprozessor 2 erzeugte Eingangssignal I,Q Null ist, wird eine an den Meßpunkten 53 und 61 gemessene Meßspannung  $V_{IM}$  und  $V_{QM}$  im wesentlichen von dem Gleichspannungsversatz des Quadraturdemodulators 19 verursacht. Durch Verstellen der Abgleichspannungen  $V_{I1}$  und  $V_{Q1}$  im Zeitintervall 74 kann dieser Gleichspannungsversatz und somit die Meßspannung  $V_{IM}$  bzw.  $V_{QM}$  minimiert werden. Die durch diese Abgleichprozedur gefundenen Werte für die Abgleichspannungen  $V_{I1}$ ,  $V_{Q1}$ ,  $V_{I2}$ ,  $V_{Q2}$  können für das nächste Sendeintervall verwendet werden.

Im Zeitpunkt  $t_5$  wird der Pegel des lokalen Oszillators 8 zusätzlich abgeschaltet, um eine Einstrahlung in den Empfänger zu vermeiden. Dadurch wird die Isolation zwischen dem Sender und dem Empfänger weiter erhöht.

Die Erfindung ist nicht auf das dargestellte Ausführungsbeispiel beschränkt. Insbesondere können die Abgleichschritte auch in anderer Reihenfolge vorgenommen werden oder einzelne Abgleichschritte können entfallen.



## Patentansprüche

1. Sendeeinrichtung (1) mit  
einem Quadraturmodulator (3) zur Quadraturmodulation einer  
5 Inphase-Komponente (I) und einer Quadraturphase-Komponente  
(Q) eines komplexen Eingangssignals (I,Q),  
einem dem Quadraturmodulator (3) nachgeschalteten  
Leistungsverstärker (9),  
einem Quadraturdemodulator (19) zur Quadraturdemodulation  
10 des Ausgangssignals des Leistungsverstärkers (9) in eine  
rückgekoppelte Inphase-Komponente (I') und eine  
rückgekoppelte Quadraturphase-Komponente (Q'),  
einem dem Quadraturmodulator (3) vorgeschalteten ersten  
Differenzverstärker (26), dessen ersten Eingang (+) die  
15 Inphase-Komponente (I) des Eingangssignals und dessen  
zweiten Eingang (-) die rückgekoppelte Inphase-Komponente  
(I') zugeführt ist, und  
einem dem Quadraturmodulator (3) vorgeschalteten zweiten  
Differenzverstärker (27), dessen ersten Eingang (+) die  
20 Quadraturphase-Komponente (Q) des Eingangssignals und dessen  
zweiten Eingang (-) die rückgekoppelte Quadraturphase-  
Komponente (Q') zugeführt ist,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Ausgang des ersten und zweiten Differenzverstärker  
25 (26,27) über jeweils einen direkten Signalpfad (32,33) unter  
Umgehung des Quadraturmodulators (3), des  
Leistungsverstärkers (8) und des Quadraturdemodulators (19)  
mit dem zweiten Eingang (-) des jeweiligen  
Differenzverstärkers (26,27) beim Umschalten von einem  
30 Sendebetrieb in einen Sendeunterbrechungsbetrieb direkt  
verbindbar ist.
2. Sendeeinrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
35 daß der direkte Signalpfad (32,33) ein Gleichstrom-  
Signalpfad ist.
3. Sendeeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,

daß der direkte Signalpfad (32,33) jeweils einen ersten steuerbaren Schalter (34,35) aufweist.

4. Sendeeinrichtung nach Anspruch 3,  
5 **dadurch gekennzeichnet,**  
daß das Signal der rückgekoppelten Inphase-Komponente (I') und der rückgekoppelten Quadraturphase-Komponente (Q') mittels eines zweiten steuerbaren Schalters (17) unterbrechbar ist.

10

5. Sendeeinrichtung nach Anspruch 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß sich der zweite steuerbare Schalter (17) am Eingang des Quadraturdemodulators (19) befindet und bei einer  
15 Signalunterbrechung den Eingang des Quadraturdemodulator (19) über einen definierten Eingangswiderstand (20) abschließt.

6. Sendeeinrichtung nach Anspruch 5,  
20 **dadurch gekennzeichnet,**  
daß ein Gleichspannungsversatz der Inphase-Komponente (I') des Quadraturdemodulators (19) mittels einer ersten Abgleichspannung ( $V_{I1}$ ) und ein Gleichspannungsversatz der Quadraturphase-Komponente (Q') des Quadraturdemodulators  
25 (19) mittels einer zweiten Abgleichspannung ( $V_{Q1}$ ) abgleichbar ist.

7. Sendeeinrichtung nach Anspruch 6,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
30 daß dem ersten Differenzverstärker (26) ein dritter Differenzverstärker (28) vorgeschaltet ist, mit welchem die erste Abgleichspannung ( $V_{I1}$ ) verbunden ist, und dem zweiten Differenzverstärker (27) ein vierter Differenzverstärker (29) vorgeschaltet ist, mit welchem die zweite  
35 Abgleichspannung ( $V_{Q1}$ ) verbunden ist.

8. Sendeeinrichtung nach Anspruch 6 oder 7,  
**dadurch gekennzeichnet,**

daß ein Gleichspannungsversatz der Inphase-Komponente (I) des Quadraturmodulators (3) mittels einer dritten Abgleichspannung ( $V_{I2}$ ) und ein Gleichspannungsversatz der Quadraturphase-Komponente (Q) des Quadraturmodulators (3) mittels einer vierten Abgleichspannung ( $V_{Q2}$ ) abgleichbar ist.

9. Sendeeinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß dem ersten Differenzverstärker (26) ein fünfter Differenzverstärker (30) nachgeschaltet ist, mit welchem die dritte Abgleichspannung ( $V_{I2}$ ) verbunden ist, und dem zweiten Differenzverstärker (27) ein sechster Differenzverstärker (31) nachgeschaltet ist, mit welchem die vierte Abgleichspannung ( $V_{Q2}$ ) verbunden ist.

10. Verfahren zum Umschalten einer Sendeeinrichtung (1) mit einem Quadraturmodulator (3) zur Quadraturmodulation einer Inphase-Komponente (I) und einer Quadraturphase-Komponente (Q) eines komplexen Eingangssignals (I,Q), einem dem Quadraturmodulator (3) nachgeschalteten Leistungsverstärker (9), einem Quadraturdemodulator (19) zur Quadraturdemodulation des Ausgangssignals des Leistungsverstärkers (9) in eine rückgekoppelte Inphase-Komponente (I') und eine rückgekoppelte Quadraturphase-Komponente (Q'), einem dem Quadraturmodulator (3) vorgeschalteten ersten Differenzverstärker (26), dessen ersten Eingang (+) die Inphase-Komponente (I) des Eingangssignals und dessen zweiten Eingang (-) die rückgekoppelte Inphase-Komponente (I') zugeführt wird, und einem dem Quadraturmodulator (3) vorgeschalteten zweiten Differenzverstärker (27), dessen ersten Eingang (+) die Quadraturphase-Komponente (Q) des Eingangssignals und dessen zweiten Eingang (-) die rückgekoppelte Quadraturphase-Komponente (Q') zugeführt wird, von einem Sendebetrieb in einen Sendeunterbrechungsbetrieb, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

- Zuschalten jeweils eines Gleichstrom-Signalpfades (32,33) zwischen dem Ausgang und dem zweiten Eingang (-) des ersten und zweiten Differenzverstärkers (26,27) vor dem
- Öffnen eines Hochfrequenz-Signalpfades (16), welcher vom
- 5 Ausgang des ersten und zweiten Differenzverstärkers (26,27) über den Quadraturmodulator (3), den Leistungsverstärker (9) und den Quadraturdemodulator (19) zum zweiten Eingang (-) des ersten und zweiten Differenzverstärkers (26,27) führt.
- 10 11. Verfahren nach Anspruch 10,  
gekennzeichnet durch,  
folgende Verfahrensschritte beim Umschalten vom Sendebetrieb in den Sendeunterbrechungsbetrieb:
  - Zuschalten des Gleichstrom-Signalpfades (32,33),
  - 15 - Abschalten einer Spannungsversorgung für den Leistungsverstärker (49) und
  - Öffnen des Hochfrequenz-Signalpfades vor dem Eingang (18) des Quadraturdemodulators (19) und Abschließen des Eingangs (18) des Quadraturdemodulators (19) mit einem definierten
  - 20 Eingangswiderstand (20).
- 12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11,  
dadurch gekennzeichnet,  
25 daß vor dem Zuschalten des Gleichstrom-Signalpfades (32,33) und vor dem Öffnen des Hochfrequenz-Signalpfades (16) der Quadraturmodulator (3) so abgeglichen wird, daß die Ausgangsspannungen ( $V_{IM}$ ,  $V_{QM}$ ) des ersten und zweiten Differenzverstärkers (26,27) minimiert werden.
- 30 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß nach dem Zuschalten des Gleichstrom-Signalpfades (32,33) und nach dem Öffnen des Hochfrequenz-Signalpfades (16) der Quadraturdemodulator (19) so abgeglichen wird, daß die
- 35 Ausgangsspannungen des ersten und zweiten Differenzverstärkers (26,27) minimiert werden.
- 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13,  
dadurch gekennzeichnet,

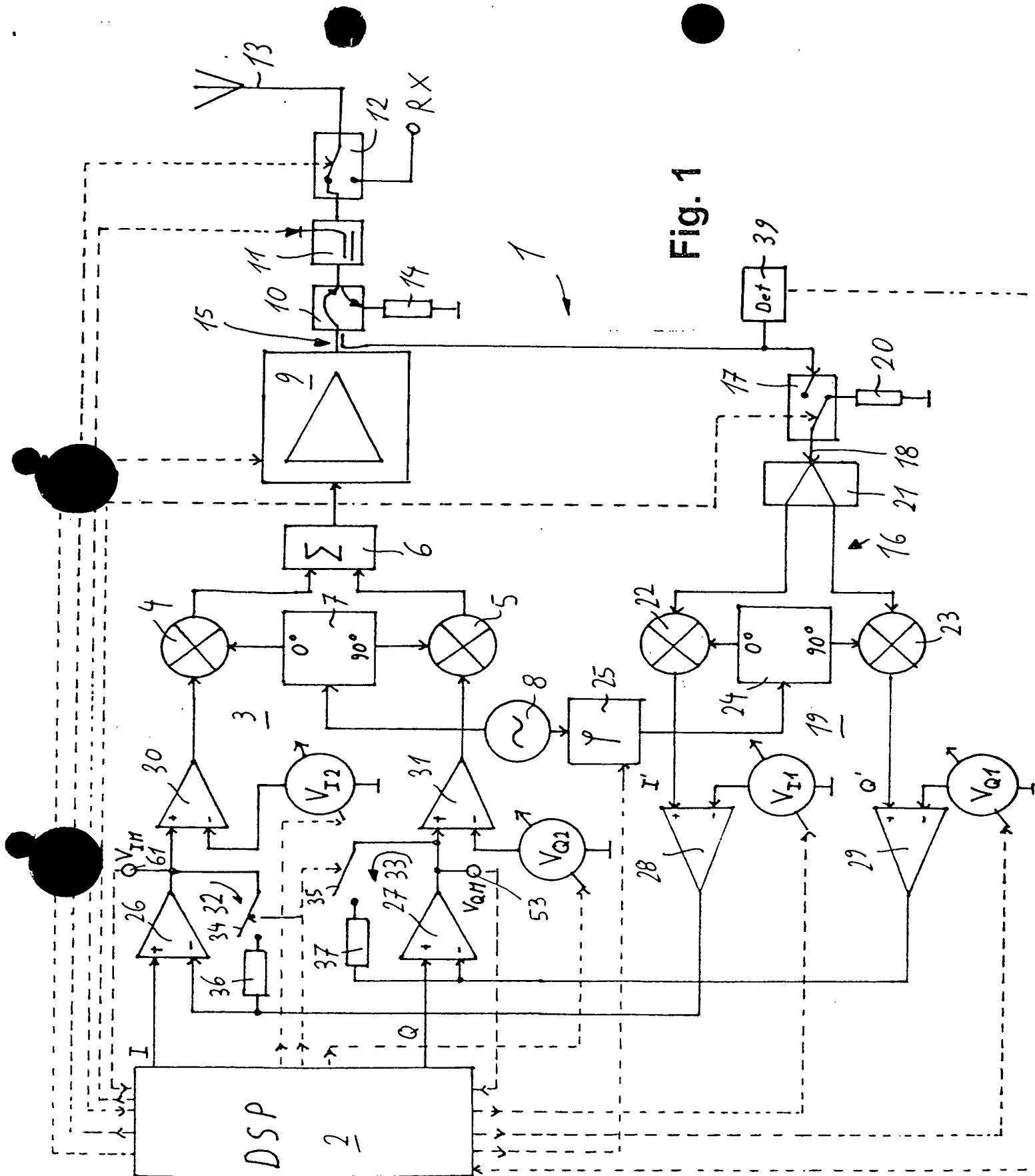
daß vor dem Zuschalten des Gleichstrom-Signalpfades (32,33) und vor dem Öffnen des Hochfrequenz-Signalpfades (16) der Quadraturdemodulator (19) so abgeglichen wird, daß die Ausgangsleistung des Leistungsverstärkers (9) bei  
5 abgeschalteten Eingangssignal (I,Q) der Sendeeinrichtung (1) minimiert wird.

## Zusammenfassung

Eine Sendeeinrichtung (19) umfaßt einen Quadraturmodulator (3) zur Quadraturmodulation eines komplexen Eingangssignals (I,Q) und einem dem Quadraturmodulator (3) nachgeschalteten Leistungsverstärker (9). Für eine Rückkopplungsschleife ist ein Quadraturdemodulator (19) zur Quadraturdemodulation des Ausgangssignals des Leistungsverstärkers (9) vorgesehen. Dem Quadraturmodulator (3) sind ein erster Differenzverstärker (26) und ein zweiter Differenzverstärker (27) vorgeschaltet, dessen Eingängen das Eingangssignal und das rückgekoppelte quadraturdemodulierte Signal zugeführt wird. Der Ausgang des ersten und zweiten Differenzverstärkers (26,27) ist jeweils über einen direkten Signalpfad (32,33) unter Umgehung des Quadraturmodulators (3), des Leistungsverstärkers (8) und des Quadraturdemodulators (19) mit dem Kompensationseingang (-) des ersten bzw. zweiten Differenzverstärkers (26,27) beim Umschalten von dem Sendeetrieb in einen Sendeunterbrechungsbetrieb direkt verbindbar.

20

( Fig. 1)



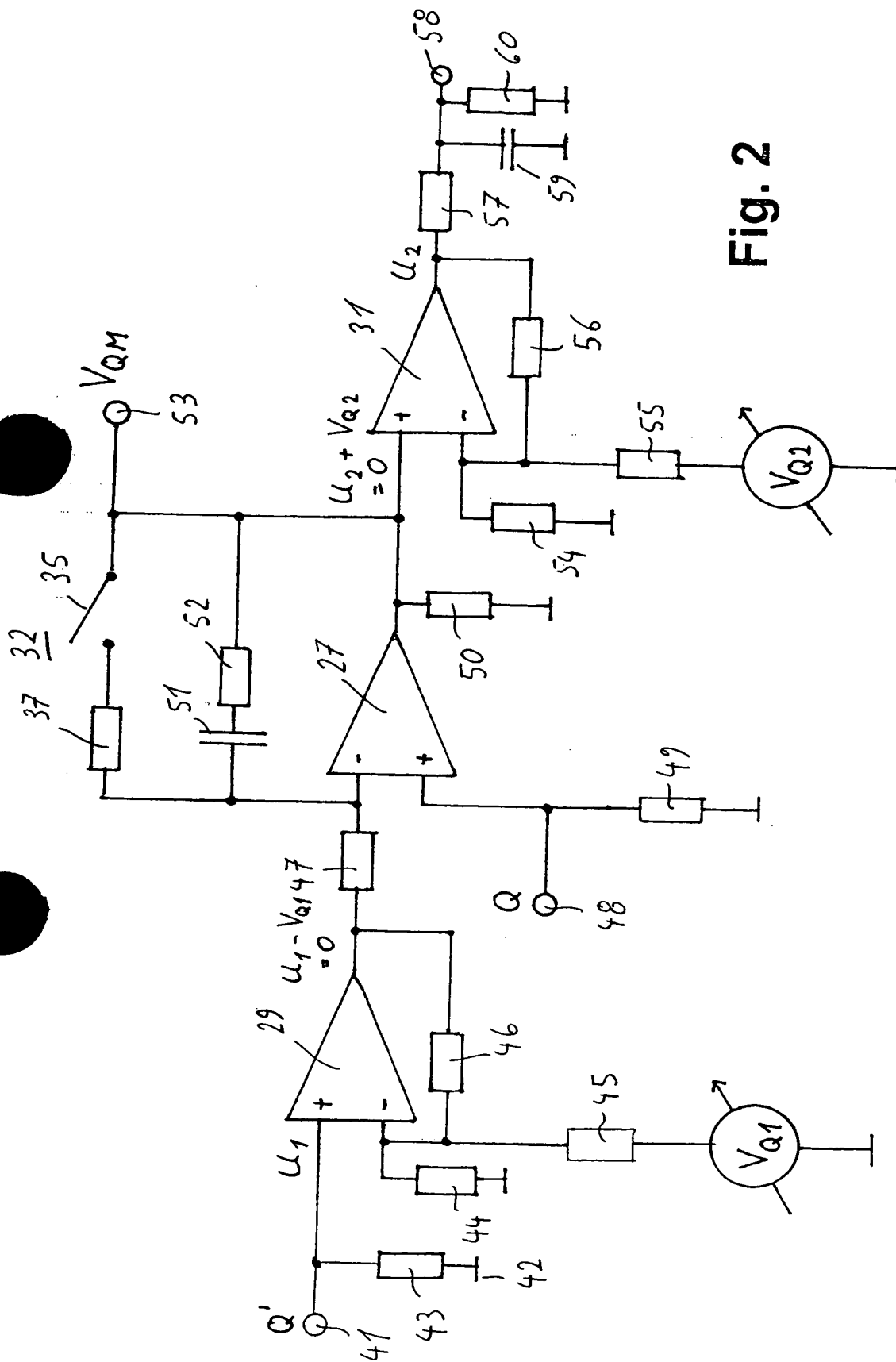


Fig. 2



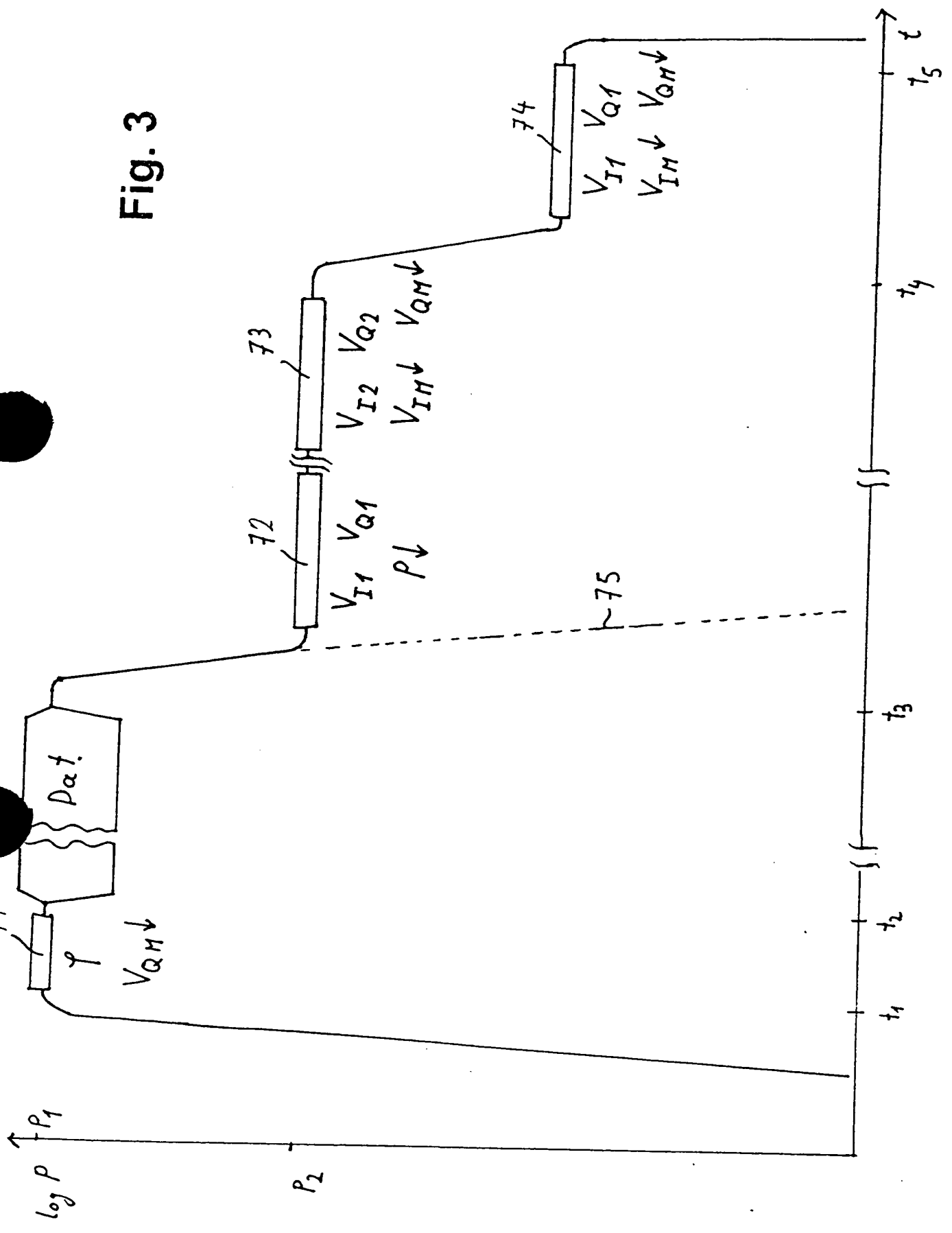


Fig. 3

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**